

リハビリテーション工学におけるITの必要性：機能的電気刺激(FES)を例にして(2.<特集>第1回情報シナジー研究会)

著者	渡邊 高志, 吉澤 誠
雑誌名	年報
巻	2
ページ	43-47
発行年	2002-07
URL	http://hdl.handle.net/10097/30786

リハビリテーション工学におけるITの必要性

ー機能的電気刺激（FES）を例にしてー

東北大学情報シナジーセンター先端情報技術研究部

渡邊 高志・吉澤 誠

あらまし

我々はこれまで、運動機能障害に対するリハビリテーションの分野で、機能的電気刺激（FES）による麻痺肢の動作再建に関する工学的研究を行ってきた。FESは、臨床的に有効性が示されてきたが、麻痺の症状や電気刺激の効果に関する患者ごとの違いや多様性に対応していくためには、多くの課題が残されている。本稿では、FESによる麻痺肢の動作再建における問題点を工学的観点からいくつか挙げて、情報技術（IT）を応用することによる解決の可能性について考えた。

1. はじめに

リハビリテーション工学とは、障害者のリハビリテーションに役立つ技術を開発し、提供することである。障害には、視覚障害、聴覚障害、運動機能障害、内部障害、高次脳機能障害などがあり、それぞれの分野で基礎から応用までの様々な研究開発がなされている。たとえば、治療訓練用具、義肢・装具、移動機器、コミュニケーション関連用具など、日常生活から社会復帰に至るまでの広範囲の福祉機器の研究・開発がある。パーソナルケア関連用具、家事用具、家具・建具・建築設備、環境改善機器・作業用具、レクリエーション用具などの住環境整備もリハビリテーション工学に含まれる。さらに、上記に関連した基礎研究、障害の評価システムの開発など、対象分野は広い。

ところで、上位中枢の運動神経系の障害による運動機能麻痺に対して、健常な末梢の神経・筋系に適切な電気刺激を与えて麻痺した手足を動かし、運動機能を再建する技術がある。これが、機能的電気刺激（Functional Electrical Stimulation、FES）であり、医学と工学との連携によりはじめて実現された。これは、従来の医学的手法とは異なった概念であり、障害者や寝たきり者が自立した日常生活をおくれるように、また、社会復帰できるように支援する技術として注目され、臨床的及び工学的研究が行われている。

本稿では、最初に、リハビリテーションの概略について簡単に紹介する。次に、リハビリテーション工学の一つとしてFESによる運動機能再建を取り上げ、国内でのこれまでの臨床応用を簡単に説明して、工学的観点からの問題点をいくつか挙げる。そして、それらの問題を解決するために情報技術（IT）を導入することの有効性について考える。

2. リハビリテーション

リハビリテーションを分類すると、大きく次の4つになる。まず、病院などの医療機関で行われる医学的リハビリテーションであり、精神的、身体的な機能や能力の回復・維持を目的とするものである。次に、就労のための職業的リハビリテーションがある。これは、職業訓練が中心になるが、職場環境の改善や雇用面での援助等も対象となる。そして、養護学校等で行われる教育的リハビリテーションがある。心身に障害のある子供を中心に、運動機能、行動、認知、情緒、言語などの発達に関す

る教育的援助が主な目的である。最後に、本人の状況による物理的、制度的、心理的障害を解消していくことにより、社会復帰や社会参加を援助する社会的リハビリテーションがある。これは、先に挙げた3つのリハビリテーション領域の基礎となり、地域社会との連携を図る役割も含む。このように、リハビリテーションは、単なる「訓練」ではなく、障害者や能力の低下した人々が社会に適応できるように、環境や社会に手を加えることも目的とするものである。

ところで、地域リハビリテーションという考え方がある。簡単に言えば、障害のある人々や高齢者が、住み慣れたところで、いきいきとした生活がおくれるように、医療・福祉関連だけでなく、生活に関わるあらゆる人々や機関・組織が、リハビリテーションの立場から協力して行う活動を指す。このような地域リハビリテーションを行うには、拠点となる場所が必要であり、リハビリテーション専門職が充実した病院や、それに準じた施設がそれに該当する。個人レベルでのリハビリテーションだけでなく、地域と連携したリハビリテーションが重要性を増しているといえる。

3. 機能的電気刺激（FES）の臨床応用

3. 1 方法

図1に、国内の臨床用FESシステムによる運動機能再建の概念を示す。患者は、ポータブル刺激装置を携帯し、残存機能を利用して刺激装置に制御命令を与え、再建する動作の選択や制御を行う。動作を再建するためには、各筋を刺激するための刺激データが必要であり、その作成方法が重要になる。国内の臨床用FESシステムでは、健常被験者での動作筋電図計測に基づいて刺激データを作成する方法を採用しており、この方法により、これまで最も複雑で不可能とされてきた重度の四肢麻痺者の手指・手関節・肘関節の動作を再建することや、片麻痺者の肩を制御することに、世界で最初に成功している。

図2に、筋電図解析により作成した刺激データの一例を示す。この図は、手の握り・開きを制御するための刺激データであり、単純な動作であってもかなり多くの筋が、それぞれ異なって活動して一つの動作を実現していることがわかるであろう。この刺激データは、患者が携帯するポータブル刺激装置に保存されるが、麻痺の状態や筋骨格系の電気刺激応答特性は患者ごとに異なるため、患者の筋ごとに刺激データを調整する必要がある。個々の筋の電気刺激応答が異なる非線形性を有していることを考えると、これらの多くの筋の刺激データを適切に作成することが困難であることも理解できるであろう。

FESの適用対象は、電気刺激に対して興奮し得る生体組織全てであると考えることができ、現在までに、表1に示すように多岐にわたる研究が行われている。ただし、心臓ペースメーカーはすでに確立した分野となっているので、FESに含めないことが多い。また、FESのように機能再建までは目的としない治療的電気刺激（Therapeutic Electrical Stimulation; TES）があり、筋力強化、痙性や痛みの抑制、尿失禁の改善や褥瘡予防などに応用されている。

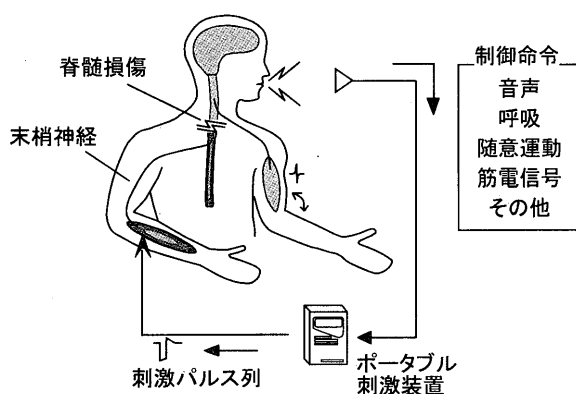


図1 国内の臨床用FESシステムによる運動機能再建の概念図

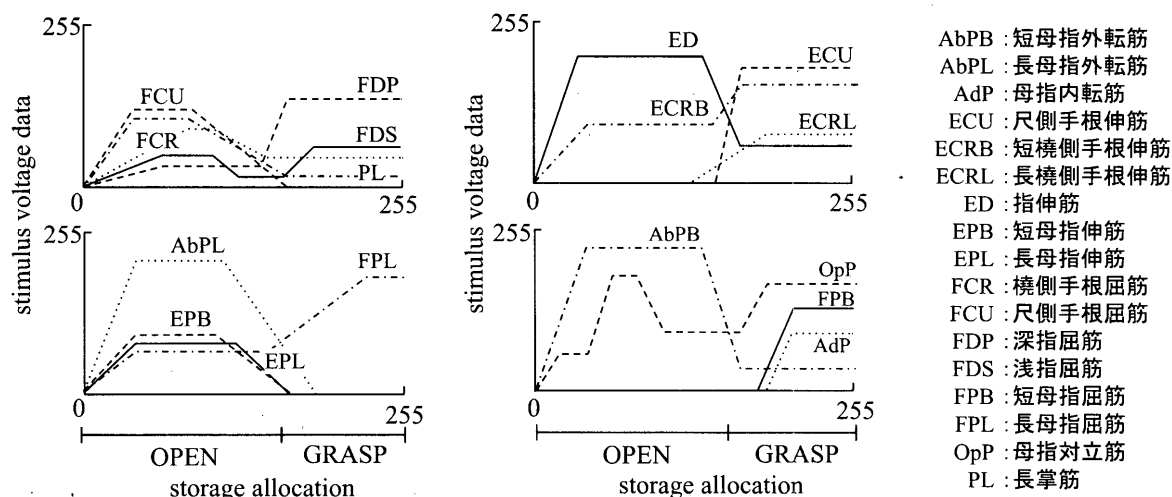


図2 健康者での筋電図を基に作成された刺激データの例（円筒握り用）

3. 2 問題点

FESによる運動機能再建の臨床応用を進めていく上での問題点として、工学的観点から次のようなことが考えられる。

まず、制御対象を考えた場合、損傷部位や麻痺の程度、神経・筋・骨格系の構造、電気刺激の効果などが患者ごとに異なることである。そして、筋の電気刺激応答特性は非線形性、時変性を有し、それらの特性が筋ごとにばらつくことも、制御対象の特性を複雑にする。さらに、制御対象の入出力関係である刺激強度－関節角度関係が冗長性を有しており、同じ動作を再建するための各筋への刺激データの組み合わせが一意に決定されないことは、多チャネルの刺激データを作成することを困難にする。

したがって、臨床の場では、医療スタッフの経験に基づく試行錯誤的な手法に依存することが多い。例えば、電極の刺入方法や刺入位置、刺激データの調整方法、電気刺激による訓練方法、電気刺激訓練や動作再建の評価方法などは、担当する医療スタッフ、医療機関での経験によるところが大きい。

表1 FESの適用対象分野

筋・運動系 補助・制御	呼吸ペースメーカー 上肢制御 下肢制御 排尿補助 (心臓ペースメーカー)
感覚系補助	聴覚補綴（蝸牛内電気刺激） 視覚補綴（大脳視覚領野電気刺激） 皮膚刺激による感覚代行

4. FESの臨床応用における課題

(1) データベースの構築

患者ごとに異なる特性や効果に起因する問題を解決していくためには、技術的なことに加え、様々な症例に対する適用例、治療効果などについて、多くの医療スタッフの経験や知識を共有することが必要になると考えられる。これにより、電気刺激治療法や訓練方法を確立すること、そして、治療・訓練効果の定量的評価基準を構築することが可能になると期待される。しかしながら、そのために解決すべき多くの課題もある。どのようなデータが必要なのか、統一化されていない情報からどのように必要なデータを抽出するのか、医療スタッフや患者にどのようにデータ入力を行ってもらうのか、などである。

(2) 訓練・評価システムの開発

運動機能障害者がFESシステムを操作する際には、システム操作や再建動作の制御、周囲環境とのやり取りなど、ある程度の訓練を行わないとうまくできない場合が多い。また、患者にとっては、FESや電気刺激訓練を行うことによって、動作の獲得や機能などが改善することを定量的に知りたいといった要望がある。これらのことから、FESに関する訓練・評価システムが有効になると考えられる。

医療施設等では、大型のシステムや複雑なシステムでも、専門的なスタッフがいれば利用可能であろう。例えば、バーチャルリアリティを利用したシステムでは、評価者の意思を反映させたタスクを与えること、患者が楽しく訓練・評価に参加することなどを実現できると考えられるので、有効な方法になると期待される。一方、患者が在宅で定期的に訓練することも必要であり、その場合には、簡単に使用できる機器の方が望ましい。ただし、単純な訓練だけでは、患者は訓練を継続してくれないので、工夫が必要である。地域リハビリテーションの拠点施設と患者宅での役割分担や連携を考慮したシステム化を図れば、なお一層充実したリハビリテーションが実現されると期待される。

(3) ネットワークシステムの充実化

将来的には、治療、訓練・評価システム、データベースシステムの連携を図ること、在宅治療や在宅リハビリテーションの管理や指導を中心とする地域リハビリテーションのサポートを充実させること、いつでも気軽に医療スタッフとコミュニケーションをとれることなどが必要になってくると思われる。そのためにはネットワークシステムを確立することが必要であり、伝達する情報の種類を明確にすることや、情報のセキュリティ技術を応用していくことなどが必要である。

(4) モデルシミュレーションシステムの開発

複雑な非線形性、時変性を有し、冗長性のある対象を制御するための適切な方法は、現在のところ確立されていない。健常者での筋電図計測から作成した刺激データを用いる開ループ制御は実用的で有効な方法であるが、閉ループ制御の必要性もある。そのような新しい制御方法を開発する際には、健常者や患者の協力による制御実験が行われているが、被験者の負担が大きいことに加え、開発方法としても効率的ではない。一方、麻痺の状態や電気刺激効果などが患者ごとに異なるために、電気刺激を行う前に、その効果を予測することは難しい。また、患者に、現在の状態からどのような動作を再建できるのか、どのような効果が得られるのかなどを説明することも困難である。さらに、刺激データの試行錯誤的な調整を軽減することや、筋電図解析を行わずに多チャネルの刺激データを作成することなども将来的に解決すべき課題である。

これらの課題を解決する方法として、筋骨格モデルによる計算機シミュレーションの利用が研究されている。現在のところ、複雑で実用的なことはできていないが、患者の麻痺の症状や希望などの多様性に対応し、様々な条件での予測を得る上で、有効な方法になることが期待されている。このようなシミュレーションは、条件により非常に高速な計算機システムを必要とする場合があり、また、モデルやシミュレーションの妥当性の検討やパラメータの設定等に患者等での情報が必要になる場合があるので、ネットワークを介した利用や、データベースシステムとの連携等も重要になってくると思われる。

5. おわりに

本稿では、リハビリテーションの概略やFESによる麻痺肢の運動機能再建の現状を簡単に紹介し、FESにおける問題点をいくつか挙げて、情報技術（IT）を応用していくことで解決できる点について考えてみた。本稿で挙げた問題点以外にも解決すべき課題はあるが、医学的、あるいは、工学的分野だけで単独に解決できる問題は多くはないといえる。ITを応用することだけでも、本稿で紹介したような問題解決を図ることが可能になると思われるので、今後、多くの分野の研究協力により、FESの分野、さらにはリハビリテーション工学の分野が発展することが期待される。